

**X-RAY ILLUMINATION OPTICAL SYSTEM AND X-RAY REDUCTION EXPOSURE APPARATUS**

Patent Number: ☐ [US2002003855](#)  
Publication date: 2002-01-10  
Inventor(s): MIYAKE AKIRA (JP); TSUKAMOTO MASAMI (JP)  
Applicant(s):  
Requested Patent: JP10070058  
Application Number: US19970917373 19970826  
Priority Number(s): JP19960223614 19960826  
IPC Classification: G21K5/00  
EC Classification: [G21K1/06](#), [G03F7/20T](#), [G03F7/20T14](#)  
Equivalents: ☐ [US6504896](#)

---

**Abstract**

---

An X-ray illumination optical system for an X-ray reduction projection exposure apparatus includes an oblique projection reflection integrator having a reflection surface provided by a plurality of small cylindrical surfaces arrayed in parallel, to perform Koehler illumination of a region of arcuate shape. It enables X-ray illumination of only an arcuate region and reduces loss of light quantity and exposure time

---

Data supplied from the **esp@cenet** database - I2

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平10-70058

(43) 公開日 平成10年(1998) 3月10日

(51) Int.Cl. <sup>6</sup>	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
H 0 1 L 21/027			H 0 1 L 21/30	5 3 1 A
G 0 3 F 7/20	5 0 3		G 0 3 F 7/20	5 0 3
G 2 1 K 5/02			G 2 1 K 5/02	X

審査請求 未請求 請求項の数 9 O L (全 8 頁)

(21) 出願番号 特願平8-223614

(22) 出願日 平成8年(1996) 8月26日

(71) 出願人 000001007

キヤノン株式会社

東京都大田区下丸子3丁目30番2号

(72) 発明者 三宅 明

東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤ  
ノン株式会社内

(72) 発明者 塚本 雅美

東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤ  
ノン株式会社内

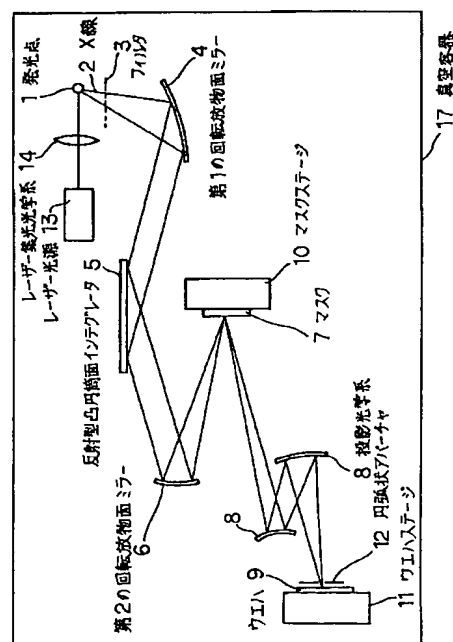
(74) 代理人 弁理士 若林 忠

(54) 【発明の名称】 X線縮小投影露光装置及びこれを用いた半導体デバイス製造装置

(57) 【要約】

【課題】 光量の損失がなく、露光時間が短縮され、ス  
ループットを高めることができるX線縮小投影露光装置  
及びこれを用いた半導体デバイス製造装置を提供する。

【解決手段】 スキャン露光によるX線縮小投影露光に  
おいて、複数の微小な円筒面が平行に配列した反射面を  
もつ斜入射反射インテグレータ5によって円弧状の領域  
をケーラー照明する。円弧状の領域のみにX線が照射さ  
れるので、光量の損失がなく露光時間が短縮する。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 X線ビームを放射する光源と、  
回路パターンが形成されたマスクと、  
前記光源からの前記X線ビームを前記マスク面上に照明  
する照明光学系と、  
前記マスクからの反射ビームをウエハ面上に収束させて  
前記回路パターンの像を縮小投影する投影光学系とから  
なるX線縮小投影露光装置において、  
前記照明光学系は、  
前記X線ビームを平行X線ビームにする第1の凹面ミラ  
ーと、  
前記平行X線ビームを反射する複数円筒面をもつ反射型  
インテグレートと、  
反射された前記平行X線ビームを更に反射して前記マス  
ク面上に照明する第2の凹面ミラーとを備えていること  
を特徴とするX線縮小投影露光装置。  
【請求項2】 請求項1に記載のX線縮小投影露光装置  
において、  
前記反射型インテグレートの前記円筒面の軸と入射する  
前記平行X線ビームの光軸とが同一平面上にあることを  
特徴とするX線縮小投影露光装置。  
【請求項3】 請求項1又は請求項2に記載のX線縮小  
投影露光装置において、  
前記マスク面上の照明領域が円弧状の形状をしているこ  
とを特徴とするX線縮小投影露光装置。  
【請求項4】 請求項1から請求項3の何れか1項に記  
載のX線縮小投影露光装置において、  
前記反射型インテグレートの反射面には多層膜が形成さ  
れていることを特徴とするX線縮小投影露光装置。  
【請求項5】 請求項1から請求項3の何れか1項に記  
載のX線縮小投影露光装置において、  
前記反射型インテグレートの反射面には単層膜が形成さ  
れていることを特徴とするX線縮小投影露光装置。  
【請求項6】 請求項1から請求項5の何れか1項に記  
載のX線縮小投影露光装置において、  
前記マスク面上の照明は、ほぼケーラー照明の条件を満  
たしていることを特徴とするX線縮小投影露光装置。  
【請求項7】 請求項1から請求項6の何れか1項に記  
載のX線縮小投影露光装置において、  
光源はレーザープラズマX線光源であることを特徴とす  
るX線縮小投影露光装置。  
【請求項8】 請求項1から請求項6の何れか1項に記  
載のX線縮小投影露光装置において、  
光源はアンジュレートX線光源であることを特徴とする  
X線縮小投影露光装置。  
【請求項9】 請求項1から請求項8の何れか1項に記  
載のX線縮小投影露光装置から成ることを特徴とする半  
導体デバイス製造装置。  
【発明の詳細な説明】  
【0001】

【発明の属する技術分野】本発明はX線縮小投影露光装  
置及びこれを用いた半導体デバイス製造装置に関する。

【0002】

【従来の技術】微細パターンをもつ半導体回路素子など  
を製造する方法として、X線縮小投影露光方法がある。  
この方法では、回路パターンが形成されたマスクをX線  
で照明し、マスク上のパターンの像をウエハ面に縮小投  
影し、その表面のレジストを露光し、パターンを転写す  
る。

【0003】従来のX線縮小投影露光のための装置とし  
ては図10にて示す構成のものが採用されていた。即ち  
図10は従来のX線縮小投影露光装置の模式的構成図、  
図11は従来の反射型インテグレートの模式的斜視図、  
図12は従来のマスク面上の照明領域を示す図である。  
図中、符号1001で示されるものはX線の発光点、1  
002はX線、1003はフィルタ、1004は第1の  
回転放物面ミラー、1005は反射型インテグレート、  
1006は第2の回転放物面ミラー、1007はマス  
ク、1008は投影光学系、1009はウエハ、101  
0はマスクステージ、1011はウエハステージ、10  
12は円弧状アパーチャ、1013はレーザー光源、1  
014はレーザー集光光学系、1015はマスク面上の  
照明領域、1016は露光が行われる円弧状領域、10  
17は真空容器である。

【0004】従来のX線縮小投影露光装置は、X線光  
源、照明光学系、マスク1007、投影光学系100  
8、ウエハ1009、マスク又はウエハを搭載したステ  
ージ1010、1011、マスクやウエハの位置を精密  
にあわせるアライメント機構、X線の減衰を防ぐために  
光学系全体を真空に保つための真空容器1017と排気  
装置、などからなる。

【0005】X線光源としてはレーザープラズマやアン  
ジュレートなどが用いられる。照明光学系では光源から  
のX線を第1の回転放物面ミラー1004で集光し、反  
射型インテグレート1005に照射し、2次光源を形成  
し、さらにこの2次光源からのX線を第2の回転放物面  
ミラー1006で集光しマスク1007を照明する。

【0006】マスク1007は多層膜反射鏡の上にX線  
吸収体などからなる非反射部を設けた転写パターンが形  
成されたものである。マスク1007で反射されたX線  
は投影光学系1008によってウエハ1009面上に結  
像する。投影光学系1008では軸外の細い円弧状の領  
域が良好な結像性能をもつように設計されている。露光  
はこの細い円弧状領域のみが利用されて行われるように  
ウエハ1009直前に円弧状の開口をもったアパーチャ  
1012が設けられている。矩形状をしたマスク全面  
のパターンを転写するため、マスク1007とウエハ1  
009が同時にスキャンして露光が行われる。

【0007】投影光学系1008は複数の多層膜反射鏡  
によって構成され、マスク1007上のパターンをウエ  
50

ハ1009表面に縮小投影する。投影光学系1008は通常、テレセントリック系が用いられている。

【0008】照明光学系は、レーザープラズマX線光源、第1の回転放物面ミラー1004、反射型インテグレート1005、第2の回転放物面ミラー1006で構成される。反射型インテグレート1005には、図11のような微小な凸または凹球面を2次元に多数配列したフライアイミラーが用いられる。レーザープラズマX線光源1013の発光点1001から放射されたX線1002は第1の回転放物面ミラー1004で反射して平行なビームとなる。このビームが反射型インテグレート1005で反射して、多数の2次光源を形成する。この2次光源からのX線は第2の回転放物面ミラー1006で反射してマスク1007を照明する。2次光源から第2の回転放物面ミラー1006、第2の回転放物面ミラー1006からマスク1007までの距離は第2の回転放物面ミラー1006の焦点距離に等しく設定されている。すなわち、2次光源の位置に第2の回転放物面ミラー1006の焦点が位置しているので2次光源の1つから出たX線はマスク1007を平行光で照射する。投影光学系1008はテレセントリック系が用いられているので2次光源の像が投影光学系1008の入射面に投影されることになり、ケーラー照明の条件が満たされている。マスク1007上のある1点を照明するX線は全ての2次光源から出たX線の重なったものである。

【0009】2次光源群の空間広がり的大小さを $d$ 、各2次光源から出るX線の角度広がりを $\theta$ 、第2の回転放物面ミラー1006の焦点距離を $f$ とすれば、マスク1007面上の照明領域1015の大きさは $f \times \theta$ 、マスク上の1点を照明するX線の角度広がりは $d/f$ となる。

【0010】照明光学系の特性を表わすパラメータとしてコヒーレンスファクタ $\sigma$ がある。投影光学系1008のマスク側開口数を $NA_{p1}$ 、照明光学系のマスク側開口数を $NA_i$ としたとき、コヒーレンスファクタは $\sigma = NA_i / NA_{p1}$

と定義される。最適な $\sigma$ の値は、必要な解像度とコントラストによって決定される。一般に、 $\sigma$ が小さすぎると、ウェハ1009上に投影された微細なパターン像のエッジ部に干渉パターンが現われ、 $\sigma$ が大きすぎると、投影された像のコントラストが低下する。

【0011】 $\sigma$ が0の場合にはコヒーレント照明と呼ばれ、光学系の伝達関数OTFは投影光学系のウェハ1009側開口数を $NA_{p2}$ 、X線の波長を $\lambda$ として $NA_{p2} / \lambda$ で与えられる空間周波数までは一定値を示すが、それを越える高周波数については0となってしまう、解像出来ない。

【0012】一方、 $\sigma$ が1の場合にはインコヒーレント照明と呼ばれ、OTFは空間周波数が大きくなるに従って小さくなるが、 $2 \times NA_{p2} / \lambda$ で与えられる空間周

波数までは0とならない。従ってより微細なパターンまで解像することが出来る。X線露光においては、転写するパターンの形状や大きさ、適用するレジストプロセスの特性などに応じて最適な $\sigma$ の値が選択され、通常 $\sigma = 0.1 \sim 1.0$ の値となるように設定される。

【0013】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、従来のX線縮小投影露光装置には次の様な欠点があった。即ち、図12に示すように、マスク面上の照明領域1015の形状は実際に露光が行われる円弧状領域1016を含むほぼ矩形形状や楕円形の領域であり、露光領域以外の部分に多くのX線が照射される。このX線は露光に寄与せず、無駄になる。このようにX線光量の損失が非常に大きく、そのため、露光時間が長くなり、スループットを高めることができないという欠点があった。

【0014】上記従来技術の問題点を鑑み、本発明の目的は、光量の損失がなく、露光時間が短縮され、スループットを高めることができるX線縮小投影露光装置及びこれを用いた半導体デバイス製造装置を提供することにある。

【0015】

【課題を解決するための手段】本発明のX線縮小露光方法は、X線ビームを放射する光源と、回路パターンが形成されたマスクと、光源からのX線ビームをマスク面上に照明する照明光学系と、マスクからの反射ビームをウェハ面上に収束させて回路パターンの像を縮小投影する投影光学系とからなるX線縮小投影露光装置において、照明光学系は、X線ビームを平行X線ビームにする第1の凹面ミラーと、平行X線ビームを反射する複数円筒面をもつ反射型インテグレートと、反射された平行X線ビームを更に反射してマスク面上に照明する第2の凹面ミラーとを備えている。

【0016】また、反射型インテグレートの円筒面の軸と入射する平行X線ビームの光軸とが同一平面上にあってもよい。また、マスク面上の照明領域が円弧状の形状をしていてもよい。また、反射型インテグレートの反射面には多層膜または単層膜が形成されていてもよい。また、マスク面上の照明は、ほぼケーラー照明の条件を満たしていてもよい。また、光源はレーザープラズマX線光源またはアンジュレータX線光源であってもよい。

【0017】本発明の半導体デバイス製造装置は、上述のX線縮小投影露光装置から成る。

【0018】即ち、多数の円筒面を平行に多数並べた広い面積の反射鏡からなる反射型インテグレートを用いることによって、マスク上の円弧状領域のみが照明される。マスクの照明領域の形状は実際に露光が行われる円弧領域に限定され、露光領域以外の部分にX線が無駄に照射されることがない。従って光量の損失がなく、露光時間が短縮され、スループットを高めることができる。

【0019】

【発明の実施の形態】マスク面上の露光領域以外の広い領域が照明されるために光量の損失が非常に大きく、露光時間が長くなり、スループットを高めることができない、という従来の技術の欠点は複数の円筒面をもった反射型インテグレータを用いることによって以下のようにして解決される。

【0020】図1は複数の凸円筒面をもった反射型凸円筒面インテグレータに平行光が入射した場合の模式的斜視図、図2は反射型凸円筒面インテグレータの模式的断面図、図3は反射型凸円筒面インテグレータの円筒面でのX線反射の説明図、図4は反射型凸円筒面インテグレータの円筒面で反射したX線の角度分布図である。

【0021】図中、符号5は反射型凸円筒面インテグレータである。

【0022】すなわち、X線光源から放射されるほぼ平行なX線ビームを複数の円筒面をもった反射型インテグレータに入射し、このインテグレータによって2次光源を形成するとともに、この2次光源から放射されるX線の角度分布を円錐面状とし、2次光源位置を焦点とする反射鏡でこのX線を反射してマスクを照明する。

【0023】複数の円筒面をもった反射型インテグレータの作用を説明するためまず、一つの円筒面反射鏡に平行光が入射した場合の反射光の振る舞いについて図3を基に述べる。一つの円筒面にその中心軸に垂直な面に対して $\theta$ の角度で平行光を入射する場合を考える。平行な入射光の光線ベクトルを

$$R1 = (0, -\cos\theta, \sin\theta)$$

円筒面形状の反射面の法線ベクトルを

$$n = (-\sin\alpha, \cos\alpha, 0)$$

とすると、反射光の光線ベクトルは

$$R2 = (\cos\theta \times \sin 2\alpha, \cos\theta \times \cos 2\alpha, \sin\theta)$$

となる。このとき反射光の光線ベクトルを位相空間にプロットすれば、図4に示すようにxy平面上で半径 $\cos\theta$ の円となる。即ち、反射光は円錐面状の発散光になる。この円錐面の頂点の位置に2次光源が存在することになる。円筒面が凹面であれば反射面の外部に、凸面であれば反射面の内部に、2次光源が存在することになる。また、図2に示すように反射面が円筒面の一部に限られていて、その中心角が $2\phi$ であるときには、図4に示すように反射光の光線ベクトルはxy平面上で中心角 $4\phi$ の円弧となる。

【0024】次に、円筒面の一部からなる反射鏡に平行光が入射し、この2次光源の位置に焦点をもつ焦点距離 $f$ の反射鏡と、さらにこの反射鏡から $f$ だけ離れた位置にマスクを配置した場合を考える。2次光源から出た光は円錐面状の発散光になり焦点距離 $f$ の反射鏡で反射したのち、平行光となる。このときの反射光は半径 $f \times \cos\theta$ で中心角 $4\phi$ の円弧状断面のシートビームになる。従ってマスク上の半径 $f \times \cos\theta$ で中心角 $4\phi$ の

円弧状領域のみが照明されることになる。

【0025】これまでは1つの円筒面反射鏡について説明してきたが、次に、図1に示すように円筒面インテグレータ即ち、多数の円筒面を平行に多数並べた広い面積の反射鏡に太さ $D$ の平行光が入射した場合を考える。先の例と同様に反射鏡とマスクを配置したとすれば、円筒面を平行に多数並べた反射鏡で反射された光の角度分布は先の例と変わらないので、マスク上では半径 $f \times \cos\theta$ で中心角 $4\phi$ の円弧状領域が照明される。また、マスク上の一点に入射する光は円筒面を平行に多数並べた反射鏡の照射領域全域から到達するので、その角度広がり $\sigma$ は $D/f$ となる。即ち、照明系の開口数は $D/(2f)$ となる。投影光学系のマスク側開口数を $NA_{pl}$ としたとき、コヒーレンスファクタは

$$\sigma = D/(2f NA_{pl})$$

となる。したがって平行光の太さによって最適なコヒーレンスファクタ $\sigma$ に設定することができる。

【0026】次に、上述の複数の円筒面をもった反射型インテグレータを用いた本発明の実施の形態について図面を参照して説明する。

【0027】(発明の第1の実施の形態)図5は本発明の第1の実施の形態のX線縮小投影露光装置の模式的構成図、図6は本発明の第1の実施の形態の反射型凸円筒面インテグレータの模式的斜視図、図7は本発明の第1の実施の形態のマスク面上の照明領域を示す図である。

【0028】図中、符号1で示されるものはX線の発光点、2はX線、3はフィルタ、4は第1の回転放物面ミラー、5は反射型凸円筒面インテグレータ、6は第2の回転放物面ミラー、7はマスク、8は投影光学系、9はウエハ、10はマスクステージ、11はウエハステージ、12は円弧状アパーチャ、13はレーザープラズマX線光源、14はレーザー集光光学系、15はマスク面上の照明領域、16は露光が行われる円弧状領域、17は真空容器である。

【0029】本発明の第1の実施の形態のX線縮小投影露光装置は、レーザープラズマX線光源13、照明光学系、マスク7、投影光学系8、ウエハ9、マスク又はウエハを搭載したステージ10、11、マスクやウエハの位置を精密にあわせるアライメント機構、X線の減衰を防ぐために光学系全体を真空に保つための真空容器17と排気装置、などからなる。

【0030】照明光学系は、第1の回転放物面ミラー4、反射型凸円筒面インテグレータ5、第2の回転放物面ミラー6で構成される。マスク7は多層膜反射鏡の上にX線吸収体からなる非反射部による転写パターンが形成されたものである。マスク7で反射されたX線は投影光学系8によってウエハ9面上に結像する。投影光学系8では軸外の細い円弧状の領域が良好な結像性能をもつように設計されている。例えば、縮小倍率 $1/5$ 、マスク7面で軸外 $200\text{mm}$ 、ウエハ9面状で軸外 $40\text{mm}$

m、幅1mmの領域で高い結像性能が確保されている。露光はこの細い円弧状領域のみが利用されて行われるようにウエハ9直前に円弧状の開口をもったアパーチャ12が設けられている。矩形状をしたマスク7全面のパターンを転写するため、マスク7とウエハ9が同時にスキャンして露光が行われる。投影光学系8は2枚の多層膜反射鏡によって構成され、マスク7上のパターンをウエハ9表面に縮小投影する。投影光学系8はテレセントリック系が用いられている。

【0031】レーザープラズマX線光源13の発光点1から放射されたX線2はターゲットの飛散物防止のフィルタ3を透過し、第1の回転放物面ミラー4で反射して平行なビームとなる。このビームが反射型凸円筒面インテグレート5で反射して、多数の2次光源を形成する。この2次光源からのX線は第2の回転放物面ミラー6で反射してマスク7を照明する。2次光源から第2の回転放物面ミラー6、及び第2の回転放物面ミラー6からマスク7までの距離はいずれも第2の回転放物面ミラー6の焦点距離に等しく設定されていて、ケーラー照明の条件が満たされている。

【0032】反射型凸円筒面インテグレート5は、図6に示すように微小な凸円筒面を1次元に多数配列した形状の反射面をもつ全反射ミラーである。反射型凸円筒面インテグレート5の断面の円弧の半径は0.5mm、中心角は30°である。これに平行光を入射した場合には反射面から0.25mm内部に入った平面上に平行に並んだ線分状の2次光源すなわちレーザープラズマX線光源13の虚像が形成される。

【0033】本実施の形態では平行X線ビームの太さDは20mm、反射型凸円筒面インテグレート5への平行X線ビームの入射角 $\theta$ は85°である。反射型凸円筒面インテグレート5に平行光を入射した場合には反射面から0.25mm離れた平面上に平行に並んだ線分状の2次光源が形成される2次光源の位置に焦点をもつ焦点距離 $f=2300\text{mm}$ の第2の回転放物面ミラー6とさらにこの第2の回転放物面ミラー6から2300mmだけ離れた位置にマスク7を配置してある。2次光源上の1点から出た光は円錐面状角度分布をもつ発散光になり、焦点距離 $f=2300\text{mm}$ の第2の回転放物面ミラー6で反射したのち、平行光となる。そして図7に示すようにマスク7上の半径 $2300\text{mm} \times \cos 85^\circ = 200\text{mm}$ で中心角 $30^\circ \times 2 = 60^\circ$ の円弧状領域16が照明される。このとき、照明光学系の開口数は $20 / (2 \times 2300) = 0.0043$ となる。投影光学系の開口数がマスク側0.01、ウエハ側0.05とすれば、コヒーレンスファクタ $\sigma$ は0.43となる。マスク7面ではマスク7上の半径200mmで中心角60°の円弧状領域16が照明され、この領域のパターンが投影光学系8によってウエハ9上のレジスト面に縮小投影される。縮小倍率を1/5とすれば、ウエハ9上の半径4

0mmで中心角60°の円弧状領域が一度に露光され、マスク7とウエハ9を同時にスキャンすることで、例えば40mm角の正方形領域が高い精度で露光される。

【0034】このように、本実施の形態では微小な凸円筒面を1次元に多数配列した形状の反射面をもつ反射型凸円筒面インテグレート5を用いることによって、マスク7を照明する領域を円弧状にし、同時に照明光学系のコヒーレンスファクタを最適値に設定することができる。またマスク7面上の照明領域15の形状は実際に露光が行われる円弧状領域16に限定され、露光領域以外の部分にX線が無駄に照射されることがない。従って光量の損失がなく、露光時間が短縮され、スループットを高めることができる。

【0035】(発明の第2の実施の形態)図8は本発明の第2の実施の形態のX線縮小投影露光装置の模式的構成図、図9は本発明の第2の実施の形態の反射型凹円筒面インテグレート5の模式的斜視図である。

【0036】図中、符号801で示されるものはアンジュレートX線光源、802はX線、803は凸面ミラー、804は第1の凹面ミラー、805は反射型凹円筒面インテグレート、806は第2の凹面ミラー、807はマスク、808は投影光学系、809はウエハ、810はマスクステージ、811はウエハステージ、812は円弧状アパーチャ、817は真空容器である。

【0037】本発明の第2の実施の形態のX線縮小投影露光装置は、アンジュレートX線光源801、照明光学系、マスク807、投影光学系808、ウエハ809、マスク又はウエハを搭載したステージ810、811、マスクやウエハの位置を精密にあわせるアライメント機構、X線の減衰を防ぐために光学系全体を真空中に保つための真空容器817と排気装置、などからなる。

【0038】本実施の形態の照明光学系は、アンジュレートX線光源801、凸面ミラー803、第1の凹面ミラー804、反射型凹円筒面インテグレート805、第2の凹面ミラー806で構成される。

【0039】マスク807は多層膜反射鏡の上にX線吸収体などからなる非反射部を設けた転写パターンが形成されたものである。マスク807で反射されたX線は投影光学系808によってウエハ809面上に結像する。投影光学系808では軸外の細い円弧状の領域が良好な結像性能をもつように設計されている。露光はこの細い円弧状領域のみが利用されて行われるようにマスク807直前に円弧状の開口をもったアパーチャ812が設けられている。矩形状をしたマスク807全面のパターンを転写するため、マスク807とウエハ809が同時にスキャンして露光が行われる。投影光学系808は3枚の多層膜反射鏡によって構成され、マスク807上のパターンをウエハ809表面に縮小投影する。

【0040】アンジュレートX線光源801の発光点から放射されたX線802はほぼ平行な細いビームであ

る。これが凸面ミラー803と第1の凹面ミラー804とで反射され、太い平行なビームとなる。このビームが表面にX線反射率を高めるための多層膜を設けた凹円筒面を平行に配列した反射型凹円筒面インテグレータ805で反射して、多数の2次光源を形成する。2次光源上の1点から出た光は円錐面状の発散光になり第2の凹面ミラー806で反射したのち、平行光となる。このとき、マスク807上の円弧状領域が照明される。

【0041】このように、本実施の形態では微小な凹円筒面を1次元に多数配列した形状の反射面をもつ反射型凹円筒面インテグレータ805を用いることによってマスク807を照明する領域を円弧状にし、同時に照明光学系のコヒーレンスファクタを最適値に設定することができる。またマスク807面上の照明領域の形状は実際に露光が行われる円弧状領域に限定され、露光領域以外の部分にX線が無駄に照射されることがない。従って光量の損失がなく、露光時間が短縮され、スループットを高めることができる。

【0042】

【発明の効果】以上説明したように本発明のX線縮小投影露光装置は、多数の円筒面を平行に多数並べた広い面積の反射鏡からなる反射型インテグレータを用いることによって、マスク上の円弧状領域のみが照明される。また照明系のコヒーレンスファクタ $\sigma$ が最適値となるように照明系の開口数を設定することができる。

【0043】即ち、マスクの照明領域の形状は実際に露光が行われる円弧領域に限定され、露光領域以外の部分にX線が無駄に照射されることがない。従って光量の損失がなく、露光時間が短縮され、スループットを高めることができるという効果がある。

【0044】また、反射型インテグレータの反射面に多層膜を形成することにより、X線反射率を高めることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】反射型凸円筒面インテグレータに平行光が入射した場合の模式的斜視図である。

【図2】反射型凸円筒面インテグレータの模式的断面図である。

【図3】反射型凸円筒面インテグレータの円筒面でのX線反射の説明図である。

【図4】反射型凸円筒面インテグレータの円筒面で反射\*

\*したX線の角度分布図である。

【図5】本発明の第1の実施の形態のX線縮小投影露光装置の模式的構成図である。

【図6】本発明の第1の実施の形態の反射型凸円筒面インテグレータの模式的斜視図である。

【図7】本発明の第1の実施の形態のマスク面上の照明領域を示す図である。

【図8】本発明の第2の実施の形態のX線縮小投影露光装置の模式的構成図である。

10 【図9】本発明の第2の実施の形態の反射型凹円筒面インテグレータの模式的斜視図である。

【図10】従来のX線縮小投影露光装置の模式的構成図である。

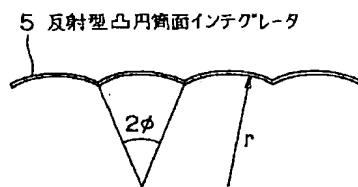
【図11】従来の反射型インテグレータの模式的斜視図である。

【図12】従来のマスク面上の照明領域を示す図である。

【符号の説明】

- |             |                |
|-------------|----------------|
| 1、1001      | X線の発光点         |
| 2、802、1002  | X線             |
| 3、1003      | フィルタ           |
| 4、1004      | 第1の回転放物面ミラー    |
| 5           | 反射型凸円筒面インテグレータ |
| 6、1006      | 第2の回転放物面ミラー    |
| 7、807、1007  | マスク            |
| 8、808、1008  | 投影光学系          |
| 9、809、1009  | ウェハ            |
| 10、810、1010 | マスクステージ        |
| 11、811、1011 | ウェハステージ        |
| 12、812、1012 | 円弧状アパーチャ       |
| 13、1013     | レーザー光源         |
| 14、1014     | レーザー集光光学系      |
| 15、1015     | マスク面上の照明領域     |
| 16、1016     | 露光が行われる円弧状領域   |
| 17、817、1017 | 真空容器           |
| 801         | アンジュレータX線光源    |
| 803         | 凸面ミラー          |
| 804         | 第1の凹面ミラー       |
| 805         | 反射型凹円筒面インテグレータ |
| 806         | 第2の凹面ミラー       |
| 1005        | 反射型インテグレータ     |

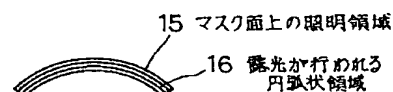
【図2】



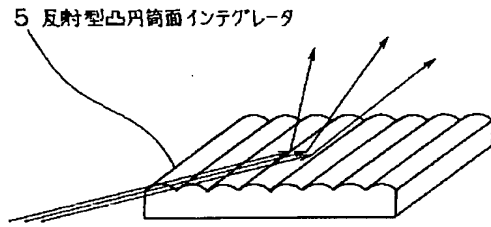
【図6】



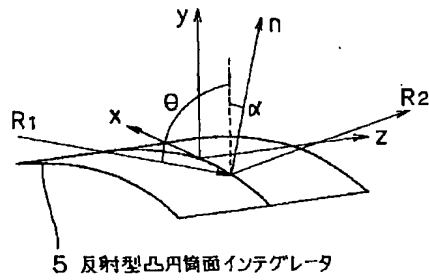
【図7】



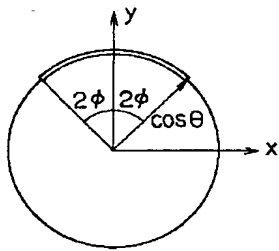
【図1】



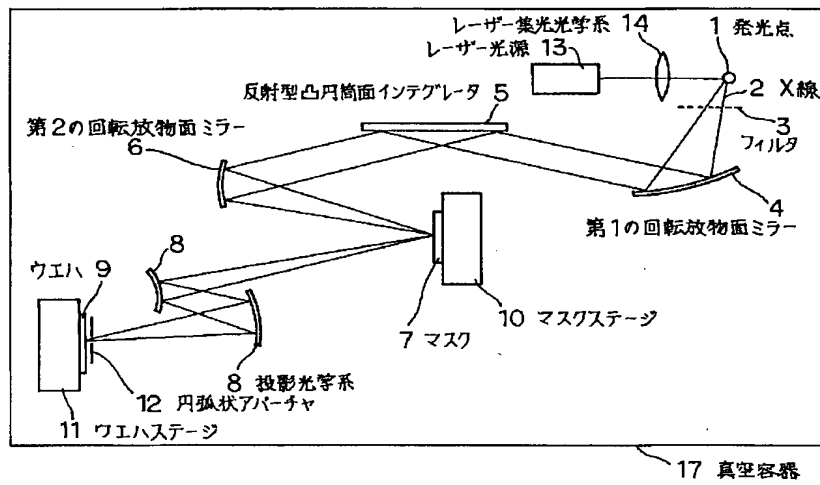
【図3】



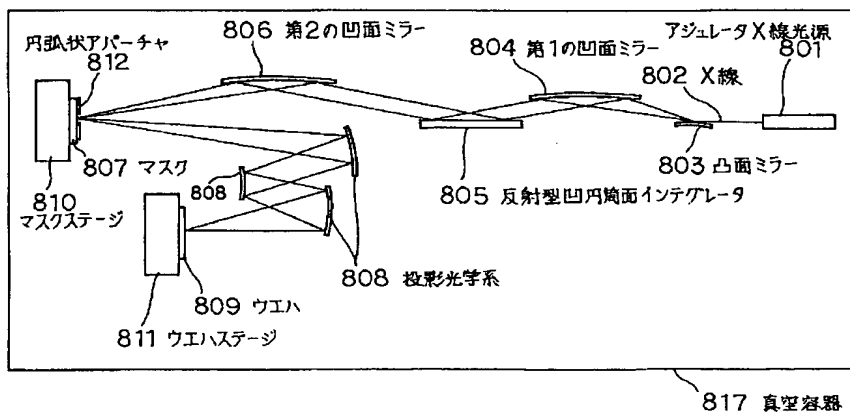
【図4】



【図5】

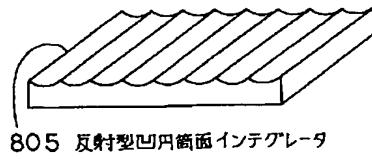


【図8】

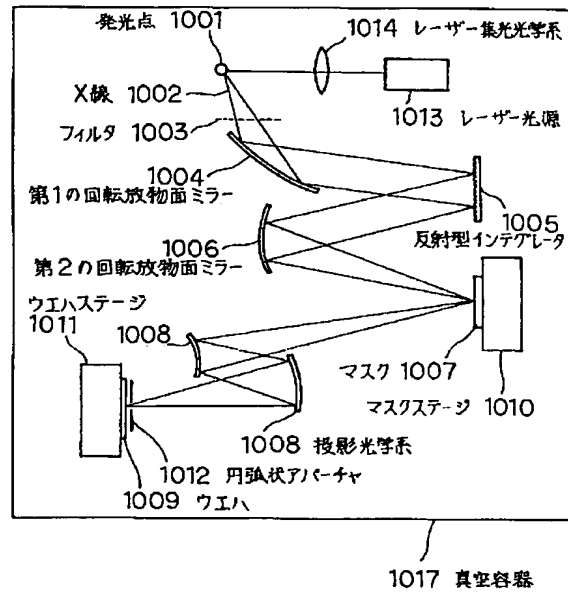




【図9】



【図10】



【図11】



【図12】

